

これからの効果的な廃熱回収 ～プラントには使える廃熱がまだまだ存在する～

プラントにおける廃熱の回収方法について、ボイラー分野、蒸気ドレン、プロセス廃熱（排蒸気・排温水）ごとに分類し、具体的に詳しく解説していただいた。（編集部）

株式会社ティエルバイ CES センター コンサルティンググループ 岩下 裕幸

1. はじめに

我が国は1970年代のオイルショックを契機に、産業界では特にプロセスの改善や廃熱の回収などによる省エネルギー対策が多く実行されてきた。さらに1990年代以降は地球温暖化対策への取り組みとして温室効果ガス排出量の削減にも注力をしてきた。これらの活動を通し、我が国の産業界は諸先進国と比べて極めて高いエネルギー効率を誇っている。

しかし、1990年後半からは一次エネルギーコストの影響などにより、産業界全体のエネルギー原単位の改善が停滞気味で、今後のさらなる省エネ促進が大きな課題となっている。

本稿では、省エネルギーを進める上で最も重要な分野である蒸気を対象に、その廃熱回収に特化して今後の対策のポイントを中心に説明する。

2. 蒸気分野の省エネルギーの重要性

2-1 産業界で蒸気が多く用いられている理由

発電用の蒸気を含めた産業界で使用される全エネルギーに占める蒸気の割合は80%を超え、また加熱用途に限定した場合でも60%以上を占めている（資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」より集計）。正に、「蒸気なしでは産業が成り立たない重要なエネルギー」である。

蒸気が多用される理由は、温水・電気・ガスなどによる顕熱加熱では得ることのできない下記の大きなメリットがあるからである。

- ① 蒸気の保有熱量は、顕熱に加えて非常に大きな潜熱を有しているため、同じ温度の温水に比べて4～15倍もの熱量を持ち、よって熱量当りのコストが安い。
- ② 間接加熱のプロセスでは潜熱を使って加熱するため、伝熱面の温度が一定となり、均一に加熱することができる。
- ③ 潜熱による加熱の際に蒸気が凝縮を伴うので、一般の顕熱加熱に比べて約2倍の伝熱効率を得られ、被加熱物を速く加熱することができる。
- ④ 凝縮したドレンを回収・再利用ができるこれらの利点は生産現場の重要課題であるコスト低減・品質向上・生産性向上・省エネルギーにつながる。また、さらに蒸気は元々“水”であり、安全性が高いということもあって『蒸気は理想のエネルギー』とも言われる。

図-1に、飽和蒸気の圧力と保有熱量の関係を示す。

2-2 なぜ蒸気分野の省エネが重要か

2-1で述べたように、産業界において蒸気は非常に重要なエネルギー源であるため、プラントにおける蒸気システムが消費するエネルギーの割合も高く占めて

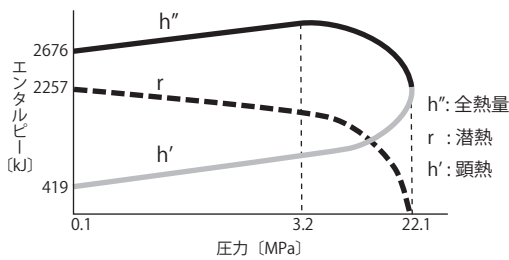


図-1 飽和蒸気の圧力と保有熱量

いる。しかし、その蒸気システムが完全に最適な状態で運転されているケースは極めて稀である。このことから、産業界で省エネルギーを推進する上で蒸気分野での改善ポテンシャルは大きいと言える。

これより、蒸気分野での省エネルギー対策の重要テーマのひとつである廃熱の回収について後述していく。

3. 蒸気プラントにおける廃熱とは

蒸気プラントにおける廃熱の対象は、以下の3つに大別される。また、これらは「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」(省エネ法)でも省エネ改善の対象として定められている。

3-1 排ガス

ボイラーや燃焼炉の燃焼温度は約千℃前後のため、燃焼後に大気へ排出される燃焼排ガスの廃熱は有効な回収対象となる。

3-2 蒸気ドレン廃熱

蒸気は保有する熱エネルギーの一部を放出すると凝縮してドレンとなり、スチームトラップにより系外に排出される。この時排出されるドレンは一般に蒸気の飽和温度で、まだ蒸気的全エンタルピーの20~30%に相当する熱を保有している。

この熱ならびに水資源は蒸気プラントにおいて最も改善効果大きい、有効な廃熱と水回収の対象である。

また、蒸気ドレンについてはすでに回収・再利用を実施しているプラントも多いが、廃熱回収率や運転上の課題を抱えている例が沢山あり、そのために回収を断念しているケースが多いのが実情である。

3-3 プロセス廃熱(排蒸気・排温水)

各種の蒸気プロセスからは、排出される排蒸気や排

温水が発生する。つまり直接蒸気を投入するプロセスでの加熱工程後の開放時にブローされる蒸気や温水ならびにこれらの排蒸気や排温水の廃熱である。また、3-2の蒸気ドレンが流入する開放タンクから発生する湯気も廃熱回収の対象となる。

4. 廃熱回収の手法

4-1 ボイラー分野での廃熱回収

4-1-1 排ガス熱回収

ボイラーの排ガスの廃熱は、燃料の発熱量の約10%にも及ぶため、有効な廃熱回収の対象である。排ガスの廃熱回収装置が備わっていないボイラーなどではエコマイザーやレキュペレーターを設置し、ボイラー給水の前熱や燃焼用空気の加熱を行うのが一般的な廃熱回収の手法である。

4-1-2 ボイラー缶水ブロー廃熱回収

ボイラーの運転において、缶水中の不純物の過剰な濃縮を避ける目的で、缶水ブローが行われる。このブロー水はボイラー運転圧力の飽和温度で、大きな顕熱を保有しているにも関わらず、まだ廃熱回収されていないことも多い。回収の手法は熱交換器を設置し、間接的にボイラー給水やプロセス用の温水などを加熱する。この手法を検討する上での重要なポイントは、熱交換器の選定、設置に際してボイラー側に背圧をかけないことである。近年は大気開放型で高効率な廃熱回収器(図-2参照)が商品化されている。

4-2 蒸気ドレン廃熱

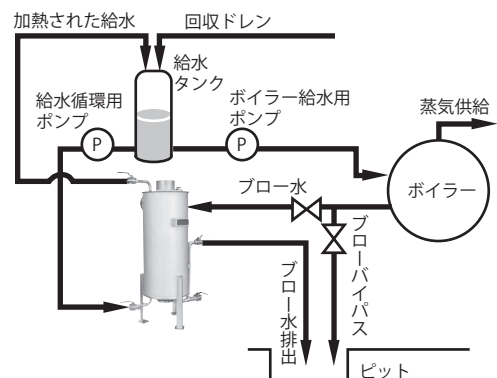


図-2 ボイラーブロー水からの廃熱回収器 TLV SR-B (大気開放型)

3-2で述べたように、蒸気ドレンは元の蒸気の全熱のまだ20～30%の熱量を保有している。この廃熱を回収することが一般に言われるドレン回収である。ドレン回収によってボイラー給水の温度上昇10℃当たり、約1.6%の燃料節約につながる。

なお、ドレン回収の手法は以下の2つに大別される。

4-2-1 オープン回収システム

プラント内の各プロセスから排出されたドレンが回収される過程で、大気開放の環境が存在する場合、オープン回収システムと呼ばれる。例えば、大気圧の給水タンクにドレンを回収するケースである。このシステムにおける回収可能なドレン温度の上限は100℃である。理由は100℃以上の高温ドレンが大気に排出されることで大気圧力の飽和温度である100℃となり、余剰の顕熱は再蒸発蒸気に変化するからである。

オープン回収システムはスチームトラップから自圧で大気開放のタンクにドレンを回収する手法とポンプを用いて回収する手法がある。前者は容易ではあるが、スチームトラップ出口に作用する背圧の影響からドレンの回収距離や立ち上げ高さが制約される。この問題解決のために近年多用されている方法がメカニカルポンプ（図-3参照）を用いた方法である。メカニカルポンプは外部から蒸気やエアの圧力を駆動源としてドレンを圧送するので、電動ポンプで見られるキャビテーションもなく、また防爆エリアへの導入も容易である。

次に事例として飲料工場におけるドレン回収事例を紹介する。CIP定置洗浄装置では微圧の蒸気が使用されており、スチームトラップを介した自圧のドレン回収が困難であり未回収状態だった。メカニカルポンプを用いた回収を行った結果、給水タンク温度が80℃まで上昇し、年間約480万円のメリットに繋がった。

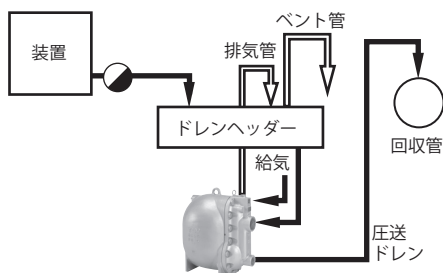


図-3 メカニカルポンプ TLV GP

4-2-2 クローズド回収システム

クローズド回収システムはオープン回収システムとは異なり、高温ドレンを大気開放にさせることなく直接ボイラーへ回収する手法である。オープン回収システムよりもボイラーへの給水温度が高くなり、燃料削減効果が20%前後と大きい。但し、スチームトラップの背圧が高くなるため、ドレン排出に必要な作動必要圧力差を確保する必要がある。また、高温ドレンによってポンプがキャビテーションを起こさないように、エゼクターを備えたクローズドドレン回収システム（図-4参照）を用いる。

4-3 プロセス廃熱（排蒸気・排温水）

4-3-1 フラッシュタンクシステム

高温ドレンが低圧環境において再蒸発現象を起こし、ドレンの一部が低圧の再蒸発蒸気に変化する特性を利用するシステムである。図-5のように、高温ドレンをフラッシュタンクに導き、そこで再蒸発して得られた低圧蒸気を低圧蒸気ラインへの補給として利用する。また残りの低圧ドレンも回収すれば、より効果的な省エネ対策となる。

4-3-2 スチームコンプレッサシステム

低圧のため用途のない蒸気を高圧の蒸気によって中圧蒸気に昇圧させるもので、図-6のスチームコンプレッサを用いる。例えば、高温ドレンをフラッシュタンクによって、用途の多い中圧蒸気として利用したいが、

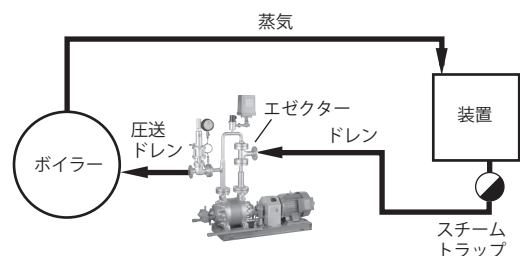


図-4 クローズド回収システム TLV CP-N

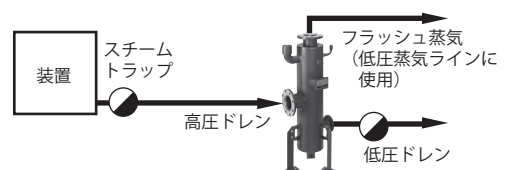


図-5 フラッシュタンクシステム TLV FV

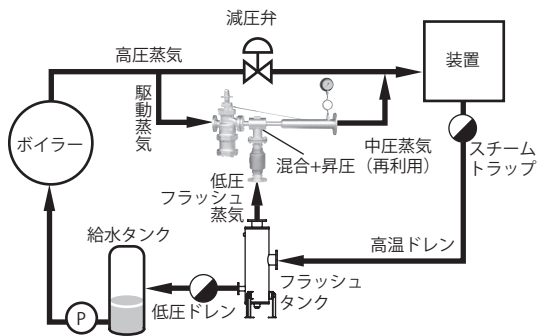


図-6 スチームコンプレッサシステム TLV SC

高温ドレンを排出するスチームトラップが背圧上昇することによるドレンの排出不良が懸念されるケースがある。このケースでは高温ドレンを一旦、フラッシュタンクで低圧蒸気として再蒸発させ、その低圧蒸気をスチームコンプレッサでさらに中圧蒸気まで昇圧すれば問題解決する。

スチームコンプレッサシステムを用いることで低圧蒸気をより用途の多い中圧蒸気に再生できるので大きな省エネルギー効果が得られる。

事例として化学工場における廃蒸気回収を紹介する。蒸気を使用するドライヤーが2機あり、それぞれ0.75MPaG、0.55MPaGで運転されているが、現状、熱量は回収されていない。ここで、0.75MPaG設定のドライヤーから排出される高温ドレンをフラッシュタンクに流入し、低圧の再蒸発蒸気として取り出し、スチームコンプレッサにて0.55MPaGまで昇圧させ、もう1機のドライヤーで再利用するシステムを構築した(駆動蒸気は1.2MPaG蒸気を使用。)結果、蒸気換算で180kg/h、年間約450万円の削減につながった。

4-3-3 大気開放型熱交換器システム

まだ多くの工場ではドレン回収タンクの上部から立ち昇る湯気や、プロセスからブローされる排蒸気が至る所で見られる。しかもこのような湯気や排蒸気を利用しようとするとタンクやプロセスに背圧が作用するため、回収を断念していることが多い。しかし、このようなケースは大気開放型の廃熱回収器(図-7参照)を用いればタンクやプロセスへ背圧を掛けることなく湯気や排蒸気の廃熱が回収できる。

また、湯気や排蒸気が回収されることで発生現場の環境や見映えの問題も同時に解決できる。

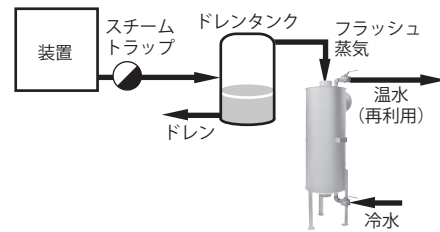


図-7 排蒸気からの廃熱回収器 TLV SR (大気開放型)

事例としてビール工場での廃蒸気回収事例を紹介する。煮沸釜から排出される高温ドレンが給水タンクへ流入することで、大量の湯気が放出されていた。ビール工場では大量の温水を使用しており、この温水の予熱を熱回収先として、大気開放型の廃熱回収器システムを導入し、結果として年間700万円のエネルギー回収につながった。

4-3-4 蒸気圧縮機システム

4-3-2ではスチームコンプレッサを用いて低圧蒸気を昇圧させたが、電力を用いてスクリュ式圧縮機によって低圧蒸気を昇圧させるのが蒸気圧縮機システム(図-8参照)である。低圧蒸気流量の変化を捉えて圧縮機のスクリュ回転数をインバータ制御しているため、スチームコンプレッサよりも蒸気量の変動に強い。(吸込蒸気量0.2~1.3t/h・最大吐出蒸気圧力0.8MPaG・定格出力160kW)

4-3-5 バイナリー発電システム

これまでプラント内から排出される100℃以下の排温水は熱回収が困難とされていたが、近年、温水の熱を利用し低沸点の媒体を気化させてその蒸気で小型タービンを回転させ、発電する技術が(株)神戸製鋼所で開発・商品化された。

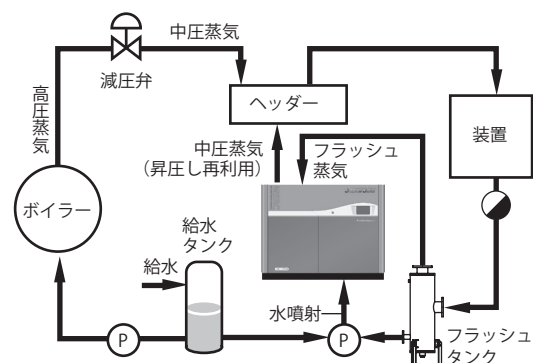


図-8 蒸気圧縮機 TLV MSRC160L

また、熱回収の対象として温水のみならず、130℃以下の低圧蒸気まで対応可能なシステムも市場導入されている。(蒸気量0.9~1.8t/h・最大発電端出力125kW)

5. これからの効果的な省エネの進め方

ここまで蒸気プラントにおける廃熱とその利用方法について紹介した。では最後に、今後効果的な省エネ対策を進めていくにはどうすればよいかを説明する。

まず、省エネ対策が具体的に進まない理由として、以下のような課題を抱えているケースが多い。

- ・省エネ対策はこれまでに多く実施してきており、新しいテーマが見つからない
- ・ロス箇所は認識しているが、省エネ効果が分からないため、投資は抑えている
- ・部門ごとに省エネルギー対策は実施してきた

しかしながら、これらの根本的な課題は「必要改善箇所が見えていない」、「投資対効果を見極めるインフラが整っていない」、「プラント全体でのエネルギーの一元管理ができていない」という点にある。よって、この解決策は「エネルギーの適確な見える化」である。具体的には、まずは優先して蒸気分野の省エネ策として最も投資採算性の高いドレン排出箇所（スチームトラップ、および周辺機器）からのロスの見える化とその削減を徹底して推進する。(当社では、この活動を「ドレン排出箇所管理」と呼んでいる。従来のスチームトラップ管理とは一線を画した仕組みを持つ。本投稿では主旨が異なるために詳細は触れない。)

そして、「エネルギーの適確な見える化」とは、プラント全体の熱の流れを把握した上で、個々の用途・設備について生産に寄与している直接エネルギーと、生産には寄与しない固定エネルギーを見極めた上で、詳細な現場診断を通して削減可能なロスを明確にし、その改善策の立案を行っていく必要がある。

見える化システムはこれからの省エネを促進する上で必須のものであるが、当社はその導入前に、スペシャリストによる蒸気システムの総合的な診断を受診されることを勧めており、診断によって改善ポテンシャルや投資採算の見通し付けならびに最適な見える化シ



写真-1 現場診断 (TLV CES サーベイ) の様子



写真-2 エネルギー・モニタリングシステム TLV EcoBrowser
システム構築のための提案を実施している (写真-1、写真-2参照)。

6. おわりに

本稿では主に蒸気プラントにおける廃熱の種類および廃熱回収の手法に関して、最新の技術の紹介を含めて記述した。当社はこれまで数多くの蒸気プラントの診断、改善システムの設計、提案に携わっている。また、それらの大部分は投資対効果の観点でも現実的なプランであり、またほとんどのプラントにおいて、更なる省エネルギーは十分に可能であると言える。

蒸気プラントの省エネルギーを推進する上で、5. でも述べたように「ドレン排出箇所の最適化」は大きな要素となるが、これに関しては今後機会があれば述べさせて頂きたい。

また、今後も蒸気使用に関する課題を抱えておられる読者の皆様のニーズに広く応えていく所存であり、本稿に関するお問い合わせやご意見は、下記を通じてご連絡頂ければ幸いです。

- ・URL <http://www.tlv.com>の『お問い合わせ』コーナーから。